

# TURBINE ENGINE PART IMPROVED IN HEAT TRANSFER AND METHOD OF MANUFACTURING TURBINE PART

Patent number: JP2001164901

Publication date: 2001-06-19

Inventor: HASZ WAYNE CHARLES; ABUAF NESIM; JOHNSON ROBERT ALAN;  
LEE CHING-PANG

Applicant: GENERAL ELECTRIC CO

Classification:

- international: F01D5/14; B22C9/24; B23K1/00; F01D5/28; F02C7/00

- european:

Application number: JP20000195380 20000629

Priority number(s):

Also published as



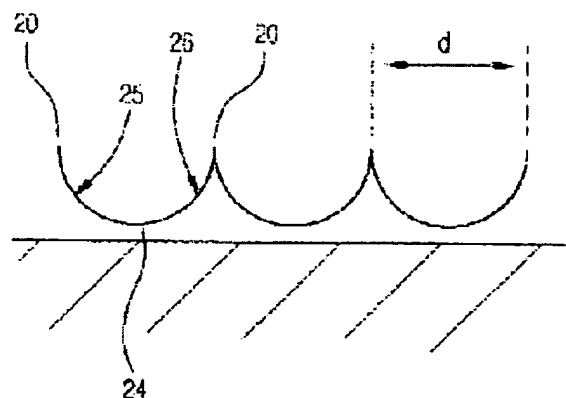
EP106534

US658960

## Abstract of JP2001164901

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve heat transfer of a turbine engine part.

SOLUTION: A turbine engine part is provided to have a surface containing a plurality of dents effective to increase the surface area of a part. The dent is formed approximately in a recess-shaped profile and transfer ability of heat of the part is improved. A method of manufacturing a turbine engine part is also disclosed.



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-164901  
(P2001-164901A)

(43) 公開日 平成13年6月19日 (2001.6.19)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード* (参考)
F 0 1 D 5/14		F 0 1 D 5/14	
B 2 2 C 9/24		B 2 2 C 9/24	A
			C
B 2 3 K 1/00	3 3 0	B 2 3 K 1/00	3 3 0 P
F 0 1 D 5/28		F 0 1 D 5/28	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L 外国語出願 (全 35 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-195380 (P2000-195380)

(22) 出願日 平成12年6月29日 (2000.6.29)

(31) 優先権主張番号 0 9 / 3 4 5 5 4 1

(32) 優先日 平成11年6月30日 (1999.6.30)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 390041542

ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ  
GENERAL ELECTRIC CO  
MPANY

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ  
クタディ、リバーロード、1番

(72) 発明者 ウェイン・チャールズ・ハス

アメリカ合衆国、バーモント州、ボウナ  
ル、ボックス・376、アールディーナンバ  
ー1番

(74) 代理人 100093908

弁理士 松本 研一

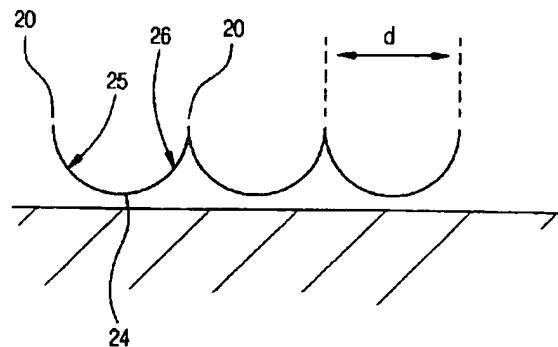
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱伝達性の向上したタービンエンジン部品並びにその製造法

(57) 【要約】

【課題】 タービンエンジン部品における熱伝達性の向上。

【解決手段】 部品の表面積を増大させるのに有効なくぼみを複数含む表面を有するタービンエンジン部品を提供する。くぼみは概して凹形輪郭を有して、部品の熱伝達性を向上させる。タービンエンジン部品の製造方法についても開示する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 各々凹形輪郭を有するくぼみを複数含む表面を有するタービンエンジン部品。

【請求項2】 各くぼみが頂部稜と下端点とを有しており、各くぼみが下端点を通る平面内に稜の第一側面から下端点まで延びる第一線分と稜の第二側面から下端点まで延びる第二線分とを有しており、第一線分と第二線分の各々が凹形である、請求項1記載のタービンエンジン部品。

【請求項3】 タービンエンジン部品が母材から形成された基材とオーバーレイコーティングとからなり、複数のくぼみがオーバーレイコーティングに形成されている、請求項1記載のタービンエンジン部品。

【請求項4】 タービンエンジン部品が母材から形成された基材からなり、くぼみが母材に形成されている、請求項1記載のタービンエンジン部品。

【請求項5】 内面で画成される内部キャビティを有する基材を含んでなるタービンエンジン翼形部であって、上記内面が複数のくぼみを有して、各くぼみが凹形輪郭を有しているとともに約125～約2050ミクロンの平均直径を有する、タービンエンジン翼形部。

【請求項6】 ニッケル基又はコバルト基超合金からなる基材を準備する段階、アスペクト比1.5以下の粒子からなる離散粒子相とマトリックス相とからなる層を基材上に施工する段階、基材を加熱して離散粒子相を基材に融着させる段階、及び離散粒子相を除去して、マトリックス相に複数のくぼみを残す段階を含んでなる、タービンエンジン部品の製造方法。

【請求項7】 中子と外殻とを有する鋳型であって、中子とその外面部分に約125～約4000ミクロンの平均高さを有する複数の突起を有する鋳型を準備する段階、溶融合金を鋳型に注入する段階、

合金を冷却して翼形部を形成する段階、及び鋳型を除去して、中子の外面と相補的なテクスチャーをもつ内面を有する翼形部を得る段階を含んでなる翼形部の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、タービンエンジンに用いられる部品に関する。具体的には、本発明は、タービンエンジン部品の熱伝達性を向上させるための処理を施した表面を有する部品並びにかかる部品の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】タービンエンジン部品の温度を限界点未満に保つために様々な技術が案出されている。例えば、エンジン圧縮機からの冷却空気を部品内部に導いて1以上の部品表面に流すことが往々にして行われる。燃焼器

からの高温ガスには直接暴露されないエンジン部品表面に冷却空気が当てられる場合、かかる流れは当技術分野で「背面気流」と解される。熱伝達を向上させるため、背面気流と共に乱流発生構造が用いられる。乱流発生構造は一般に部品の表面の所定のセクションに設けられた突起又は「こぶ」の形態をしており、その表面を流れる冷却媒体と併用することで熱伝達を高める機能をもつ。乱流発生構造は溶線溶射や鋳造等の幾つかの技術によって形成される。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】乱流発生構造はそれを施した部品の熱伝達特性を向上させることが判明しているが、当技術分野では熱伝達を一段と向上させることが絶えず求められている。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】本発明のある態様では、タービンエンジン部品の表面積を増大させるのに有効なくぼみを複数含む表面を有する部品が提供される。くぼみは概して凹形の輪郭をもつ。

【0005】本発明の別の態様は、基材を準備する段階、マトリックス相と離散粒子相とを含む層を基材上に施工する段階、及び離散粒子相を除去する段階を含むタービンエンジン部品の製造方法に関する。離散粒子相を除去すると、マトリックス相に複数のくぼみが残る。

【0006】本発明のさらに別の態様は、複数の突起を表面部分（テクスチャー面をなす）に有する鋳型を準備する段階、溶融合金を鋳型中に注入する段階、溶融合金を冷却してタービンエンジン部品を形成する段階、及び鋳型を除去する段階を含むタービンエンジン部品の製造方法に関する。鋳型を除いた後のタービンエンジン部品は、鋳型のテクスチャー面と相補的なテクスチャー面を有する。

## 【0007】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態では、元素態金属、合金、セラミックス、複合材を始めとする任意の材料が利用されるが、一般には、1000℃を超えるような高温環境用に設計された耐熱合金が活用される。本明細書中でいう「金属基」という用語は、主に金属又は合金でできた基材をいう。ある種の耐熱合金は、コバルト基、ニッケル基及び鉄基合金を始めとする「超合金」である。ある実施形態では、超合金はニッケル基超合金又はコバルト基超合金であるが、この場合にはニッケル又はコバルトが最大重量比率を占める唯一の元素である。代表的なニッケル基合金は約40重量%以上のニッケル(Ni)と共に、コバルト、クロム、アルミニウム、タングステン、モリブデン、チタン及び鉄からなる群から選択される1以上の成分を含む。ニッケル基超合金の例には、Inconel（登録商標）、Nimonic（登録商標）、Rene（登録商標）（例えばRene（登録商標）80及びRene（登録商標）95合金

等)、及びUdimet(登録商標)という商品名で呼ばれるものがある。代表的なコバルト基合金は、約30重量%以上のコバルト(Co)と、ニッケル、クロム、アルミニウム、タングステン、モリブデン、チタン及び鉄からなる群から選択される1以上の成分とを含む。コバルト基超合金の例には、Haynes(登録商標)、Nozzleloy(登録商標)、Stellite(登録商標)及びUltimet(登録商標)という商品名で呼ばれるものがある。

【0008】基材のタイプは種々変更し得るが、燃焼器ライナ、燃焼器ドーム、バケットもしくはブレード、ノズルもしくはベーン又は翼形部のように超合金製のタービンエンジン部品の形態であることが多い。その他の基材として、タービンエンジンの高圧段以外のタービン部品、例えばフランジ、ケーシング及びリングを始めとするシュラウドクリアランス制御部の部品がある。かかる部品は、その部品が暴露される環境温度が低いことから超合金で作らなくてもよい。かかる部品用の典型的な合金には、Inconel(登録商標)718、Inconel(登録商標)900シリーズ、及びWaspaloy(登録商標)がある。

【0009】本発明の実施形態では、基材(特にタービンエンジン部品)の表面は、各々凹形輪郭を有するくぼみを複数含むように処理又は形成される。これらのくぼみは一個一個独立して、個々のくぼみはそれらの間の稜によって互いに隔てられている。例えば、部品の処理面は「月面クレーター」に類似しており、これについては後でさらに詳しく説明する。例えば、翼形部の場合には、月面クレーター様のテクスチャー面を形成するくぼみが、内部キャビティを画成する翼形部内面に設けられる。この内面に冷却空気流が供給され、背面冷却をもたらす。

【0010】ある実施形態では、表面の処理はオーバーレイコーティングを用いて行われる。オーバーレイコーティングは、ブレイジングシートの場合のように自立性シートの形態であってもよいし、或いはスラリーであってもよい。オーバーレイコーティングは離散くぼみ形成相と、合金ろう材のようなマトリックス相材料とを含む。

【0011】本発明のある実施形態では、ブレイジングシートはろう材グリーンテープである。かかるテープは市販されている。ろう材グリーンテープは、一般に水や有機液体のような液体媒質中に合金ろう材粉末とバインダを分散させた形態の合金ろう材のスラリーから形成される。液体媒質はバインダに対する溶媒として機能し得る。

【0012】合金ろう材の組成は一般にニッケル基又はコバルト基である。ニッケル基又はコバルト基組成物とは、一般に、ニッケル又はコバルトが重量百分率で組成物中の最も多い元素である組成物を意味する。合金ろう

材組成物は、ケイ素、ホウ素、リン又はそれらの組合せを含んでいてもよく、これらの成分は融点降下剤として作用する。なお、別のタイプの合金ろう材を使用することもでき、例えば、銀、金、又はパラジウム又はこれらの混合物を銅、マンガン、ニッケル、クロム、ケイ素及びホウ素のような他の金属と共に含む貴金属組成物も使用し得る。ろう材合金元素の1種類以上を含む混合物も使用し得る。合金ろう材の具体例には、重量%での公称組成が、ホウ素2.9、ニッケル92.6、スズ4.5のもの；ホウ素3.0、クロム7.0、鉄3.0、ニッケル83.0及びケイ素4.0のもの；クロム19.0、ニッケル71.0及びケイ素10.0のもの；ホウ素1.8、ニッケル94.7及びケイ素3.5のものがある。

【0013】ろう材グリーンテープを作るためのスラリーのバインダとしては一般に様々な材料が用いられている。非限定的な具体例として、ポリエチレンオキシド及び各種アクリルのような水性有機材料がある。溶剤型バインダも使用できる。粘度の調整のためスラリーに有機溶剤(アセトン、トルエン、各種キシレン等)又は水を追加してもよい。

【0014】スラリーは、Mylar(登録商標)等の材料でできたプラスチックシートのような除去可能な支持シート上にテープキャストする。テープキャストには一般にドクターブレードが用いられる。次いで、スラリー中の揮発性物質を実質的にすべて蒸発させる。得られる合金ろう材テープは通常約1〜約250ミクロン、好ましくは約25〜約125ミクロンの厚さを有する。

【0015】上述の合金ろう材とバインダを含んだろう材テープは市販されている。市販品の一例はSulzer Metco社から市販されているAmdry系ろう材テープである。グレードの一例はAmdry(登録商標)100である。

【0016】ろう材グリーンテープに設けられるくぼみ形成相は通常、処理部品の熱伝達を高める機能をもつ明瞭な稜とくぼみを形成するのに十分な大きさの粒子からなる粗粉末である。多くの実施形態では、粒子寸法は、稜とくぼみによってもたらされる表面粗さ及び表面積(及び最終的には熱伝達)の程度でおおいた決定される。本明細書中では、表面粗さは、所定の領域で光学形状測定法で測定した中心線平均粗さ「Ra」と平均高低差「Rz」で特徴付けられる。ある実施形態では、Raは約0.1ミルより大きく、例えば約1.0ミルより大きく、好ましくは約2.0ミルより大きい。通例Raは約25ミル未満、特に約10ミル未満である。同様に、ある実施形態では、Rzは約1ミルより大きく、例えば約5ミルより大きい。Rzは通例約50ミル未満、特に約25ミル未満である。

【0017】ある実施形態では、くぼみ形成粉末の粒子は概して球状であり、通例2.0以下のアスペクト比、

望ましくは1.5以下の平均アスペクト比を有する。ある実施形態では、粒子は約1.2以下のアスペクト比を有する。くぼみ形成粉末粒子の平均粒度は一般に約125～約4000ミクロン、例えば約150～約2050ミクロンである。ある好ましい実施形態では、粉末粒子の平均粒度は約180～約600ミクロンである。

【0018】くぼみ形成材料はマトリックス相材料から選択的に除去し得る材料で作られる。好ましくは、粒状材料は、マトリックス材料と基材との接合に用いられる高温においてマトリックス材料と反応しない。例えば、粒状材料はニッケルクロムアルミニウムイットリア合金(NiCrAlY)のような金属であってもよく、酸浴中でのエッチングによって合金ろう材マトリックスから選択的に除去できる。セラミック材料も使用でき、一段と高い選択性を与えることがある。例えば、ある実施形態ではアルミナ粒子を利用するが、これは塩酸等の各種の酸化性酸によって合金ろう材マトリックスから選択的にエッチングできる。マトリックス相がはんだや高温エポキシでできている低温用途では、粒状プラスチックを使用できる。

【0019】粉末は、散布、注入、吹付け、ロール付着等の様々な技術によってランダムに付着させることができる。付着技術の選択は、稜とくぼみの望ましいパターンが得られるような望ましい粉末粒子の配列にある程度依存する。例えば、くぼみの所望パターンの密度が比較的低い場合には、ふるいを通して粉末を所定量ずつテープ表面に散布すればよい。

【0020】通常、くぼみ形成粉末の付着に先立って、ろう材グリーンテープの表面に接着剤を塗布する。後段での融着段階で完全に揮発し得るものであればどんなろう材接着剤でも使用できる。接着剤の具体例にはポリエチレンオキシド及びアクリル材料がある。ろう材接着剤の市販品としては、Cotronics社から市販の「4B Braze Binder」がある。接着剤は各種技術で施工できる。例えば、液状接着剤は表面に吹付けるか或いは塗布すればよい。また、3M社の467接着テープのような両面に接着剤の付いた薄いマット又はフィルムを用いることもできる。

【0021】ある実施形態では、ろう付に先だって、熱伝達に最適な望ましい配列が得られるようにテープ表面で粉末粒子を移動させる。例えば、細長い形状をもつ針状粒子(例えばアスペクト比が2.0を超えるもの)は、その最大寸法が基材に接するブレイジングシートの表面に対して実質的に垂直になるように物理的に整列させてもよい。粉末の整列はその他の様々な技術によっても実施し得る。例えば、物理的、磁氣的又は静電的方法を使用して、所望の配向にすることができる。さらに別の実施形態では、個々の粒子又は粒子群を合金ろう材で被覆して、該被覆粒子を、基材に貼り付ける接着シートに配置する。かかる接着シートは、融着作業の際に実質

的に完全に燃え尽きてしまうものであれば、どんな接着剤からなるものでもよい。好適な接着剤については上記で説明した。

【0022】幾つかの実施形態では、くぼみ形成粉末をブレイジングシート表面上でパターン化する。パターン化には様々な技術がある。ある実施形態では、合金ろう材粉末をスクリーン印刷技術によってスクリーンを通して基材表面に施工する。スクリーンは、突起の所望の形状及び大きさに応じて、所定のサイズ及び配列の開口を有する。別法では、ろう材接着剤をスクリーンを通してシートに塗布する。スクリーンを外すと、パターン化した接着剤層が得られる。このシートに合金ろう材粉末をかけると、接着剤を含んだ領域に接着する。スクリーンの使用によって複数の粒子「群」からなるパターンが定まるが、群は一般にスクリーンの開口の間隔に対応したピッチで互いに離隔する。過剰の粉末は容易に除去でき、所望の粒子パターンが残る。もう一つの別法では、「クッキーカッター」法を用いることができ、先ず所望のくぼみ形成パターンを画成するようにろう材テープをカットし、余分なろう材テープを取り除く。こうしてパターン化したテープにくぼみ形成粉末を付着させればよい。さらに別の実施形態では、くぼみ形成材料の粒子を合金ろう材で被覆し、被覆粒子を、融着段階で揮発する接着剤シートに付着させる。この場合、接着剤シートは融着前にくぼみ形成材料を基材に付着させるための簡単な手段を提供するが、一般に最終的な融着品においてはなんの役割も果たさない。

【0023】別の実施形態では、できあがった後のグリーンテープの表面にくぼみ形成粉末を付着させる代わりに、ろう材グリーンテープの作成中に、くぼみ形成粉末をろう材グリーンテープの他の成分(合金ろう材粉末、バインダ及び溶剤)と混合する。くぼみ形成粉末はろう材グリーンテープで分散粒子相をなす。

【0024】次に、Mylar(登録商標)裏当て材のような除去可能な支持シートをろう材グリーンテープから剥がす。このテープを、部品(基材)のうち熱伝達を高めることが望まれる部分に付着させる。例えば、接着剤を使用してもよい。テープを基材材料に付着させるための接着剤は、融着段階で完全に揮発するものであればよい。

【0025】幾つかの実施形態では、別の簡単な付着技術が用いられる。基材の所定の部分にろう材グリーンテープを置き、次いでバインダを部分的に溶解し可塑化する溶剤と接触させれば、テープは基材表面に順応して接着する。例えば、ろう材テープを基材上に置いた後、テープにトルエン、アセトンその他の有機溶剤を吹付けるか或いは刷毛塗りすればよい。

【0026】基材にろう材グリーンテープを貼り付けた後、テープを基材に融着させる。融着段階は、ろう付や溶接のような様々な技術で実施できる。一般に融着はろ

う付で行われるが、ろう付には基材の母材を実質的に融解することなく金属と金属又は合金溶加材とを接合するあらゆる方法が包含される。ろう付温度は使用する合金ろう材のタイプにある程度依存するが、典型的には約525〜約1650℃である。ニッケル基合金ろう材の場合、ろう付温度は通常約800〜約1260℃である。

【0027】可能であれば、ろう付は真空炉内で実施されることが多い。真空度は合金ろう材の組成にある程度依存する。普通、真空度は約 $10^{-1}$ 〜約 $10^{-8}$  torrであり、真空チャンバから周囲空気を所望レベルまで排気することによって達成される。

【0028】炉を使用することができない領域にブレージングシートを付ける場合、例えば部品が大き過ぎて炉内に挿入できない場合や、現場修復の場合には、概してトーチその他の局部加熱手段が用いられる。例えば、アルゴンカバーシールド又はフラックスを有するトーチをろう付表面に当てる。かかる目的のための加熱技術の具体例には、ガス溶接トーチ（例えば酸素アセチレン炎、酸素水素炎、空気アセチレン炎、空気水素炎等）、RF（高周波）溶接、TIG（タングステン不活性ガス）溶接、電子ビーム溶接、抵抗溶接を用いるもの、並びにIR（赤外）ランプを用いるものがある。

【0029】融着段階で、ブレージングシートが基材に融着する。ろう材が冷えると、基材表面で金属学的結合を生じ、凝固ろうマトリックス材によってくぼみ形成材料が機械的に保持される。

【0030】本発明の別の実施形態では、ブレージングシートは第一の表面と第二の表面を有する金属プリフォームの形態にある。このプリフォームは基材の材料と類似の金属材料、例えば上記の実施形態について説明したものと同様の合金ろう材からなる。例えば、基材がニッケル基超合金であれば、プリフォーム材料は一般にニッケル基超合金である。その他の合金ろう組成物、例えばコバルトや鉄を含むもの、又は上述の貴金属組成物も適していることがある。合金ろう組成物は、通例、融点降下剤として作用するケイ素、ホウ素又はその組合せを含む。しかし、ろう材グリーンテープとは異なり、金属プリフォームは一般にバインダを含まない。プリフォームは緻密化した形態にあるからである。プリフォームは通常約0.1〜約2500ミクロンの厚さ、好ましくは約25〜約200ミクロンの厚さを有する。

【0031】金属プリフォームの作成には様々な技法を使用し得る。第一の技法では、金属粉末材料とバインダの混合物を除去可能な支持シート上にテープキャストする。支持シートを取り除いて、残ったグリーンシートを、例えば真空熱処理等を用いて焼結してプリフォームとする。焼結温度はプリフォームの合金組成、粉末粒子の粒度及びプリフォームの所望密度等の様々な要因に依存する。このプロセスは一般に「テープキャストプリフォーム」法と呼ばれる。

【0032】別の技法では、金属粉末材料を金属薄層として支持シート上に堆積させる。かかる堆積には、通常、真空プラズマ溶射、HOVF（高速ガス炎溶射）又は大気プラズマ（AP）溶射等の各種の熱溶射法が使用される。その他の堆積法、例えばスパッタリングや物理蒸着（PVD）も使用できる。しかる後に、支持シートを取り除けば、所望の金属プリフォームが残る。

【0033】プリフォームを作成するためのさらに別の技法は、非晶質金属リボン法と呼ばれることがある。このプロセスでは、金属粉末材料を溶融し、溶融材料を高速ローラーに注いで、ローラーで溶融材料を極めて急速に冷却する。急冷材料はローラーからリボンとして出てくる。ろう材プリフォームは、Wesgo社やAllied Signal社等の様々な供給元から市販されている。一般に、ろう材プリフォームは、くぼみ形成粉末の付着させてから基材に融着する前にプリフォームが緻密化した形態（例えば焼結）にある点で、上述のろう材グリーンテープとは異なる。

【0034】くぼみ形成粉末はろう材プリフォームの表面に付着させられる。かかる粉末は、一般に、上述のろう材グリーンテープを用いる実施形態に関して述べた粉末と同じ特性を有している。普通、くぼみ形成粉末を付着させる前にプリフォーム表面に接着剤を塗布する。接着剤は上述したものの中から選択できるが、金属プリフォームに接着し、かつ後段での融着段階において完全に揮発するものであることが条件とされる。接着剤の具体例は上述したもの、例えばポリエチレンオキッドや各種アクリル等である。基材表面の所要の熱伝達特性に基づいて、合金ろう材粉末粒子も上述の通り移動及び配列させることができる。同様に、粉末粒子を様々な技術によってプリフォーム表面上でパターン化してもよい。

【0035】場合によっては、プリフォームを貼り付ける基材表面が湾曲していることがある。かかる場合には、プリフォームに同じ湾曲をもたせるのが望ましいこともある。比較的薄いプリフォームは容易に曲がって基材の湾曲に適合し得る。厚いプリフォームは普通は柔軟ではないが、その他の技術によって形付けすることができる。例えば、作成時に、基材の所望の湾曲と同じ湾曲をもった除去可能な支持シートを使用する。次いで、この支持シート上に、上述の技術、例えば熱溶射又は鑄造（例えば液体金属鑄造又はバインダと共に粉体スラリー鑄造）によってろう材を付着させる。次いで、くぼみ形成粉末を、同じく上述した通り、プリフォーム上に堆積させればよい。しかる後、支持シートから所望の湾曲をもったプリフォームを剥がせばよい。

【0036】基材の熱伝達を高めるべき部位に適した大きさにろう材プリフォームをカットする。プリフォームを基材の該当部分に付着させればよい。例えば、くぼみ形成粉末で覆われた面とは反対側の面を、接着剤シート又は接着剤組成物によって基材に付着させる。プリフォ

ームを基材金属に付着させるための接着剤は、融着段階において完全に揮発するものであればよい。接着剤の具体例は既に記載した通りである。

【0037】別法では、ろう材プリフォームを機械的手段によって取り付ける。幾つかの好ましい実施形態では、プリフォームを基材表面に数箇所局所的に溶接する（スポット溶接）。TIG（タングステン不活性ガス）溶接、抵抗溶接、ガス溶接（例えばトーチ付）、RF溶接、電子ビーム溶接及びIRランプ法等の様々な加熱技術を使用し得る。

【0038】次いで、基材へのプリフォームの融着を既に述べた通り実施すればよいが、この段階ではろう付を用いることが多い。ろう付温度はこの場合もプリフォームに用いた合金ろう材の種類にある程度依存するが、通例約525～約1650℃である。上記のニッケル合金ろう材の場合、ろう付温度は通常約800～約1260℃である。融着段階では既に述べた通りプリフォームを基材に融着させるが、この段階は真空炉内で実施し得る。真空炉の代替手段として、トーチを用いてろう付を行ってもよいし、その他の加熱技術（例えば前述の溶接技術）を用いて基材にプリフォームを融着させてもよい。

【0039】別の実施形態では、プリフォームは、既に述べた通りくぼみを形成するために粒子相の除去によって予めテクスチャーを施した合金からなり、このプリフォームを合金ろう材層で基材に接合する。この場合、プリフォームは合金ろう材よりも高い融点もしくは軟化点を有する合金で作られ、このプリフォームは既に所望のテクスチャーを有する自立性シートである。

【0040】別の実施形態では、基材をスラリー状材料層で被覆する。すなわち、既に述べた実施形態とは異なり、ブレイジングシート（ろう材グリーンテープ又はろう材プリフォームの形態のもの）は使用しない。その代わりに、液体媒質と合金ろう材粉末とくぼみ形成粉末を含むスラリーを基材の表面に直接塗布する。スラリーを乾燥させ、被覆した基材を加熱すると、合金ろう材が軟化して膜を形成し、この膜がくぼみ形成粉末と基材とを結合する。スラリーは通例バインダを含んでおり、液体媒質がバインダの溶剤として機能する。スラリーを乾燥してから融着するまでの間に部品の取扱いが必要となる場合（被覆した部品を炉に輸送する場合のように）には、バインダを使用するのが望ましい。

【0041】液体媒質は水でも、アセトンやトルエンや各種キシレンのような有機成分でも、或いは水と有機成分との混合物でもよい。くぼみ形成粉末、合金ろう材粉末及びバインダは上述の材料からなるものでよい。例えば、バインダとしてはポリエチレンオキシドや各種アクリルのような水性有機材料（又は複数の材料の組合せ）がある。非水性の溶剤型バインダも使用できる。

【0042】一般にスラリー自体がくぼみ形成粉末と合

金ろう材とバインダを含む。合金ろう材の量は、くぼみ形成粉末との相対的關係でくぼみ形成粉末の粒子が基材に結合するのに十分な量で選択され、例えば合金ろう材約1～40重量%及び残部（約60～99重量%）のくぼみ形成粉末である。バインダの量は、一般に、バインダの消失体積を最小限に抑えながら取扱いに十分な圧粉強度が確保される量で存在し、例えばスラリーの約1～20重量%である。

【0043】上述の実施形態では、融着後の部品の構造は、部品の外面の一部をなす凝固合金ろう材膜と、表面から突出した突起とを含んでいる。図1及び図2を参照すると、部品10は基材12、ろう材膜の形態のマトリックス相14、及びマトリックス相14に埋め込まれて突起をなす粒子16を含んでいる。図に示す通り、粒子16は概して単層として配列しており、一般に粒子の重なりはほとんど或いは全くない。従って、融着後の処理部品の外面は合金ろう材膜で画成され、その膜には粒子相が埋め込まれている。合金ろう材の膜は一般に連続マトリックス相を形成する。本明細書でいう「連続」マトリックス相とは、基材の処理領域において粒子又は粒子群同士が互いに連絡した膜を意味する。別法では、合金ろう材膜は連続していなくてもよく、個々の粒子が基材に結合するように局所的にのみ存在していてもよい。この場合、合金ろう材膜は離散した粒子又は粒子群を取り囲む局在化した帯状である。いずれの場合も、膜の薄い部分がくぼみ形成粉末の粒子を全体的又は部分的に被覆するように延びていてもよい。

【0044】融着後、粒子相が除去され、図3の顕微鏡写真及び図4の概略図に示す構造が残る。図に示す通り、部品は、相互に連絡した網状構造をなす稜20を有するオーバーレイコーティング23と離散したくぼみ21とによって画成される「月面クレーター」様の構造を有している。通例、オーバーレイコーティングは、凝固合金ろう材の場合のように、単一の均一相で構成される。図1に示す例では、ニッケル合金ろう材マトリックス（Cr19重量%、Si10重量%、残部Ni）中の粒子はNiCrAlYからなるものであった。粒子は-50～+80のメッシュサイズを有しており、上記合金ろう材を含むろう材グリーンテープに接着させた。テープを基材に接着させて、2100°Fの温度で適所に融着させた。粒子を水、塩酸（HCl）及びHNO<sub>3</sub>（硝酸）の1:1:1浴に70℃で3時間さらすことによって粒子を除去した。上述の通り、その他の粒子/エッチング液系も利用できるが、融着中に粒子がマトリックス相の材料と不都合な反応を起こさないこと並びに粒子がマトリックスから選択的に除去されることが条件とされる。合金ろう材の薄膜が粒子を覆っている場合、粒子が直接エッチング液にさらされるようにろう材層を除去するのが一般に望ましい。かかる除去は様々な手段で行うことができ、例えば、軽くグリットブラストして



エッチング液に短時間暴露して膜を除去する。

【0045】概して球状の粒子が除去されるので、くぼみ21は凹形輪郭を有する。かかる輪郭は処理部品の熱伝達を向上させるのに特に有効であると予想される。凹形輪郭は最小限の質量増加で表面積を増大させるが、これは熱伝導の路程、すなわちオーバーレイコーティング23を通して伝播するフォノンの路程の短縮に重要である。本明細書中において本発明の各実施形態のくぼみについて用いる「凹形」という用語は、くぼみの下端点を通る断面においてくぼみが2つの線分によって画定され、その各線分がくぼみの外からみて凹形であることを意味している。本発明の実施形態のくぼみの凹形については以下でさらに詳しく説明する。

【0046】図4及び図5に示す通り、各くぼみはくぼみの最も底にある点である下端点24を有している。球状粒子の場合、くぼみ21は概して半球形であり、下端点24はくぼみの幾何学的中心に位置する。これに関して、図5の断面は下端点24を通ってくぼみ21を二分する。この断面で、稜20の第一の側面から下端点24まで延びる第一の線分25が画成され、稜20の第二の側面から下端点24まで延びる第二の線分26が画成される。図示した通り、第一線分25及び第二線分26は、くぼみ21の外から線分に垂直な方向にみて、各々凹形である。この実施形態では、各線分はその長さに沿った全体が凹形であり、いずれの線分も凸形部分を全く有していない。

【0047】図5に示す通り、くぼみ21は直径dを有する。直径dは概してくぼみ形成相の粒子の粒度に対応する。従って、平均直径dは約125～約4000ミクロン、例えば約125～2050ミクロンのオーダーである。また、くぼみ21は約75～約2000ミクロン、例えば約75～1000ミクロンのオーダーの曲率半径を有する。図に示した曲率半径は、くぼみの半球形輪郭のため、くぼみ全体を通して概して一定である。ただし、曲率半径は、非球状粒子を用いてくぼみを形成した場合のように、一定である必要はない。一般に、非半球形のくぼみはくぼみに沿った幾つかの点で上記数値範囲に属する曲率半径を有する。

【0048】図5に示す稜20は、くぼみ形成相の粒子の外面に沿っての合金ろう材の濡れ作用のため、はっきりとしたピークをなしている。しかし、図6に示す通り、稜はシャープである必要はない。稜が丸くなる原因として、融着時のくぼみ形成相に対するマトリックス相の濡れの程度が低いことや、エッチング処理時のエッチング液の作用による稜の侵食等を始めとする様々な要因がある。図6には、くぼみ形成相の2つの粒子が互いに接していない或いは密に充填していない場合も示している。ここで、一つのくぼみの縁を画成する稜20はプラトー28によって稜30から隔てられている。かかるプラトーは一般に処理面つまりテクスチャー面全体に存在

しており、稜の相互連絡網状構造を形成する。

【0049】上記で具体的に説明した本発明の実施形態では、視認できるくぼみを有するテクスチャー面がオーバーレイ層内に形成される。オーバーレイ層の使用によって、その層の材料を部品のある種の特性を高めるように選択し得る。例えば、オーバーレイ層は望ましい熱伝導率、耐食性及び耐酸化性をもつようにすることができ

る。【0050】別の実施形態では、くぼみ形成相をマトリックス相から選択的に除去する削減法を用いる代わりに、熱伝達性の向上したタービンエンジン部品を鋳造作業で直接製造する。この代替法では、こぶもしくは突起のテクスチャーをもつ内面を有する鋳型に溶融合金を注入する。従って、オーバーレイコーティングではなく部品の母材がテクスチャーを形成する。好適な溶融合金には、上述のもの、例えばコバルト基又はニッケル基超合金がある。

【0051】突起は通例先の実施形態に関して説明した粒子相と同じ特性を有する。ある形態では、突起は概して球状で2.0未満の平均アスペクト比を有し、通例約1.5未満、特に約1.2以下のアスペクト比を有する。突起は125～約4000ミクロンの平均高さ、例えば約125～約2050ミクロンのオーダーの平均高さを有する。鋳型は、当技術分野で用いられる様々な技術の一つ、例えば「ロストワックスプロセス」して知られる技術によって製造できる。通例、鋳型は溶融合金の鋳造に伴う高温に耐えるセラミック材料で作られる。典型的なセラミック材料にはアルミナ、シリカ及びその組合せがある。

【0052】鋳造用の鋳型は、通例、外殻と中子を有する。テクスチャー面が部品の内部（例えば内部キャビティを画成する内面）にある場合、中子の外面に上述の突起又はこぶでテクスチャーをつける。かかる部品の典型例は、背面冷却材流を受け入れるタービンブレードである。

【0053】鋳造後、合金を冷まして凝固させる。次いで部品から鋳型を離す。通例、鋳造部品から鋳型を離すには中子のような鋳型の一部を壊す。鋳造部品は、鋳型の突起を含む面に倣ったつまり相補的なテクスチャー面を有する。すなわち、鋳造部品は鋳型の突起に相補的な複数のくぼみを有している。このテクスチャー面の幾何学的特性、例えばくぼみと稜の輪郭、大きさ及び形状は、削減法を用いて形成する実施形態について述べた通りである。

【0054】本発明の以上の実施形態では、くぼみの平均深さは、稜から下端点まで測定して、約75～約2000ミクロン、特に約75～約1000ミクロンのオーダーである。さらに、本発明の各実施形態では、くぼみの密度は一般に25個/cm<sup>2</sup>以上であり、通例100個/cm<sup>2</sup>以上、望ましくは500個/cm<sup>2</sup>以上であ

る。ある実施形態でのくぼみ密度は約1100個/cm<sup>2</sup>、別の実施形態では3100個/cm<sup>2</sup>であった。

【0055】本発明の実施形態によるタービンエンジン部品のテクスチャー加工は基材の表面積を増大させるのに有効である。例えば、Aを部品の処理領域の表面積、A<sub>0</sub>を未処理の状態（概して平滑面をもつ）の部品の同一領域の表面積とすると、面積増加率A/A<sub>0</sub>は一般に約1.05以上、通例約1.20以上である。面積増加率A/A<sub>0</sub>は約1.50以上であるのが望ましい。A/A<sub>0</sub>は通常約4.0未満であり、通例約2.5未満である。

【0056】大半の実施形態において、稜とくぼみ（陥凹部）を含むテクスチャー面が存在して、その下の部品の熱伝達特性を高める。熱伝達性の向上の結果、部品の所定領域で温度が下がり、熱応力が低減する。さらに、くぼみの大きさ及び間隔を調整することで、熱伝達性の向上を調節することができ、その結果部品の熱勾配及び応力勾配が減る。

【0057】本発明の実施形態では、テクスチャー面のプロファイルを従来の鋳造タービュレータよりも減らすことで、冷却表面を横切る冷却媒体流の圧力降下が減少し、フィン冷却効率が改善される。例えば、ある実施形態では、くぼみの深さは600ミクロン以下、特に約375ミクロン未満であり、フィン効率が改善される。

【0058】テクスチャー加工は多種多様なタービンエンジン部品に応用できる。例えば、その他の超合金部品として、燃焼器ライナ、燃焼器ドーム、バケットもしくはブレード、ノズル、ベーン、翼形部又はシュラウドがある。低温用途に用いられる非超合金部品も処理できる。例えば、フランジ、ケーシング及びリングを始めとするシュラウドクリアランス制御部を有益に処理し得る。これらの実施形態では、テクスチャー加工を用いることで、流路シュラウドの直径の一段と正確な制御が可能となり、ブレード先端とシュラウド面の間のクリアランスを減らして効率を高めることができる。かかる部品の材料についての低温条件に鑑みると、オーバーレイコーティングの場合には、合金ろう材を例えば高温エポキシやはんだのような別のバインダで置き換えてもよい。

【0059】上述の通り、冷却は一般にインピンジメント冷却、すなわち高温環境中で使用される部品に冷却媒体を垂直に当てることによって行われる。なお、インピンジメント冷却が冷却の好ましい形態ではあるが、冷却媒体はテクスチャー面に対して様々な角度で当ててよ

い。また、冷却媒体は普通は空気であるが、水等の他の流体からなることもある。

【0060】上述のように、テクスチャー面を鋳造するか或いはオーバーレイコーティングの形態で設けて熱伝達性を改善する。熱伝達の増大は処理部品の表面積の増加によるところが大きいと思料される。テクスチャー面は、冷却媒体の流れ特性を変える（例えば層流から表面での乱流への変化）ことでも熱伝達を高め得る。

【0061】本発明の実施形態では、アクセスの容易でない表面をテクスチャー加工して向上した熱伝達性を与える方法が提供される。さらに、本発明の実施形態では、大きさ及び幾何学的形状（並びに所望に応じてパターン）の異なるくぼみ/稜系の形成が可能である。タービンエンジン部品のテクスチャー面は増大した表面積と最小限の質量を有するので、部品内部を通してのフォノンの路程の短縮によって熱伝達がさらに改善される。

【0062】本発明の好ましい実施形態に関して説明してきたが、本発明の技術的思想から逸脱しない代替実施形態は当業者には自明であろう。従って、本発明の技術的範囲は特許請求の範囲によってのみ限定される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は、エッチング処理前のタービンエンジン部品の表面のSEM顕微鏡写真である。

【図2】 図2は、エッチング後のタービンエンジン部品の表面の断面を示す。

【図3】 図3は、図1に示した表面のエッチング処理後のSEM顕微鏡写真である。

【図4】 図4は、図2の表面のエッチング後の断面を示す。

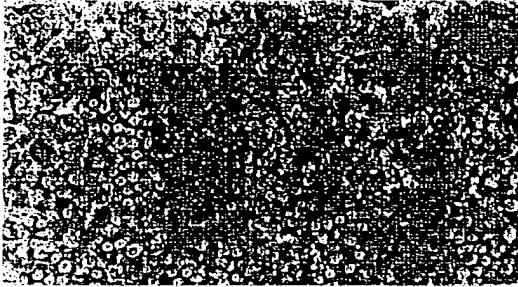
【図5】 図5は、図4の拡大断面図である。

【図6】 図6は、図4の別の拡大断面図である。

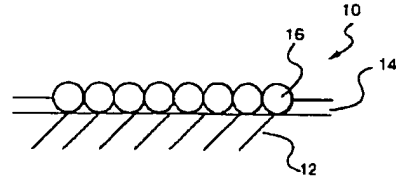
【符号の説明】

- 10 タービンエンジン部品
- 12 基材
- 14 マトリックス相
- 16 粒子
- 20 稜
- 21 くぼみ
- 24 下端点
- 25 第一線分
- 26 第二線分
- 28 プラトー
- 30 稜

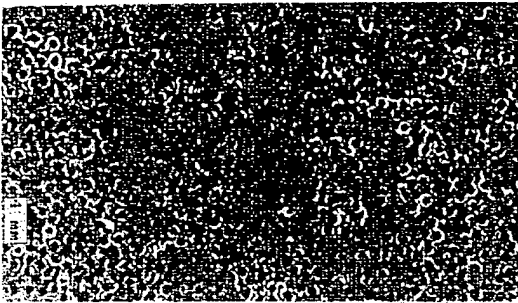
【図1】



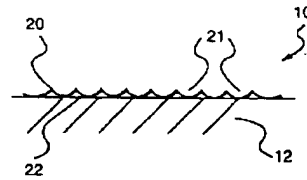
【図2】



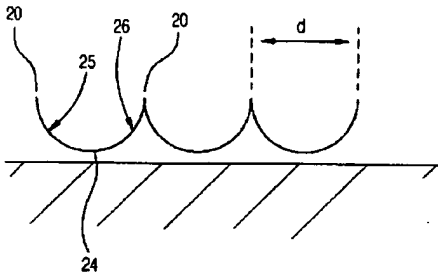
【図3】



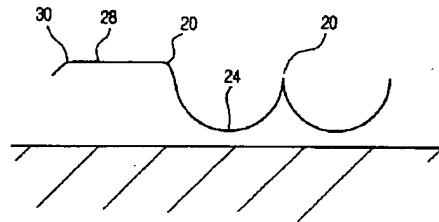
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>7</sup>

F 0 2 C 7/00

識別記号

F I

F 0 2 C 7/00

テーマコード(参考)

C  
D

(72)発明者 ネジム・アブアフ  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカ  
ユナ、バレンシア・ロード、1532番

(72)発明者 ロバート・アラン・ジョンソン  
アメリカ合衆国、サウス・カロライナ州、  
シンアソンビル、ワイルド・ホース・クリ  
ーク・ドライブ、308番

(72)発明者 チン・バン・リー  
アメリカ合衆国、オハイオ州、シンシナテ  
ィ、キャマーゴ・パインズ、12番

BEST AVAILABLE COPY

【 外国語明細書 】

## **1. Title of Invention**

**TURBINE ENGINE COMPONENT HAVING ENHANCED HEAT TRANSFER  
CHARACTERISTICS AND METHOD FOR FORMING SAME**

## **2. Claims**

**1. A turbine engine component having a surface that contains a plurality of depressions, each depression having a concave contour.**

**2. The turbine engine component of claim 1, wherein each depression has a top ridge and a bottom-point, each depression having a first line segment extending from a first side of the ridge to the bottom-point and a second line segment extending from a second side of the ridge to the bottom point in a plane extending through the bottom point, each of the first line segment and the second line segment being concave.**

**3. The turbine engine component of claim 1, wherein the turbine engine component comprises a substrate formed of a base material, and an overlay coating, the plurality of depressions being formed in the overlay coating.**

**4. The turbine engine component of claim 1, wherein the turbine engine component comprises a substrate formed of a base material, and the depressions are formed in the base material.**

**5. A turbine engine airfoil, comprising:  
a substrate having an inner cavity defined by an inner surface, said inner surface having a plurality of depressions, each depression having a concave contour and an average diameter within a range of about 125 to about 2050 microns.**

6. A method for forming a turbine engine component, comprising the steps of:

providing a substrate comprised of a nickel-based or a cobalt-based superalloy;

applying a layer on the substrate, said layer comprising a matrix phase and a discrete particulate phase comprising particles having an aspect ratio of not greater than 1.5;

heating the substrate to fuse the discrete particulate phase to the substrate; and

removing the discrete particulate phase, leaving behind a plurality of depressions in the matrix phase.

7. A method of forming an airfoil, comprising the steps of:

providing a mold having an inner core and an outer shell, the inner core having a plurality of protrusions along an outer surface portion thereof, the protrusions having an average height within a range of about 125 microns to about 4000 microns;

injecting a molten alloy into the mold;

cooling the alloy to form the airfoil; and

removing the mold, the airfoil having an inner surface having a texture that is complementary to the outer surface of the inner core.

### **3. Detailed Description of Invention**

#### **BACKGROUND OF THE INVENTION**

The invention relates to components used in turbine engines. More particularly, the invention is directed to a turbine engine component that has a treated surface to enhance the heat transfer characteristics of the component, and methods forming such a component.

Various techniques have been devised to maintain the temperature of turbine engine components below critical levels. As an example, coolant air from the engine compressor is often directed through the component, along one or more component surfaces. Such flow is understood in the art as "backside air flow," where coolant air is directed at a surface of an engine component that is not directly exposed to high temperature gases from combustion. In combination with backside air flow, turbulation has been used to enhance heat transfer. Turbulation has generally taken the form of protuberances or "bumps" on selected sections of the surface of the component, which functions to increase the heat transfer with the use of a coolant medium that is passed along the surface. Turbulation is formed by one of several techniques, including wire spraying and casting.

While turbulation has been found to improve the heat transfer characteristics of the treated component, further heat transfer improvements are continually sought in the art.

#### **SUMMARY OF THE INVENTION**

According to one aspect of the invention, a turbine engine component is provided that has a surface that contains a plurality of depressions that are effective to increase the surface area of the component. The depressions are generally concave in contour.

Another aspect of the invention calls for a method for forming a turbine engine component, including the steps of providing a substrate; applying a layer on the substrate, which includes a matrix phase and a discrete particulate phase; and then removing the discrete particulate phase. By removal of the discrete particulate phase, a plurality of depressions are left behind in the matrix phase.

Still another aspect of the present invention calls for a method of forming a turbine engine component, including the steps of providing a mold having a plurality of protrusions along a surface portion thereof, the protrusions forming a textured surface; injecting a molten alloy into the mold; cooling the molten alloy to form a turbine engine component; and removing the mold. The turbine engine component following removal of the mold has a textured surface that is complementary to the textured surface of the mold.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

Embodiments of the present invention utilize any material, including elemental metals, alloys, ceramics, composites, but generally take advantage of heat-resistant alloys designed for high-temperature environments, such as above 1000 °C. As defined herein, "metal-based" refers to substrates that are primarily formed of metal or metal alloys. Some heat-resistant alloys are "superalloys" including cobalt-based, nickel-based, and iron-based alloys. In one embodiment, the superalloy is nickel- or cobalt-based, wherein nickel or cobalt is the single greatest element by weight. Illustrative nickel-based alloys include at least about 40 wt% nickel (Ni), and at least one component from the group consisting of cobalt, chromium, aluminum, tungsten, molybdenum, titanium, and iron. Examples of nickel-based superalloys are designated by the trade names Inconel®, Nimonic®, Rene® (e.g., Rene®80-, Rene®95 alloys), and Udimet®. Illustrative cobalt-based alloys include at least about 30 wt% cobalt (Co), and at least one component from the group consisting of nickel, chromium, aluminum, tungsten, molybdenum, titanium, and iron.

Examples of cobalt-based superalloys are designated by the trade names Haynes®, Nozzle®, Stellite® and Ultimet®.

While the type of substrate can vary widely, it is often in the form of a turbine engine part formed of a superalloy, such as a combustor liner, combustor dome, bucket or blade, nozzle or vane, or airfoil. Other substrates are turbine parts that are not in the high-pressure stage of the turbine engine, such as in shroud clearance control areas, including flanges, casings, and rings. Such parts may not be formed of a superalloy in view of lower temperature environments to which the components are exposed. Typical alloys for such components include Inconel® 718, Inconel® 900 series, and Waspaloy®.

According to embodiments of the present invention, a surface of a substrate, particularly a turbine engine component, is treated or otherwise formed to include a plurality of depressions, each depression having a concave contour. The depressions are discrete, where individual depressions are separated from each other by interconnected ridges. For example, the treated surface of the component resembles "moon craters," described in more detail below. In the case of an airfoil, for example, the depressions forming a moon crater-like textured surface is provided along an interior surface which defines an inner cavity. Coolant air flow is provided along this interior surface, to provide backside cooling.

In one embodiment, treatment of the surface is carried out by use of an overlay coating. The overlay coating may be in the form of a free-standing sheet, such as in the case of a brazing sheet, as well as a slurry. The overlay coating contains a discrete, depression-producing phase and a matrix phase material such as a braze alloy.



In one embodiment of the invention, the brazing sheet is a green braze tape. Such tapes are commercially available. The green braze tape is formed from a slurry of a braze alloy, generally in the form of a braze alloy powder and binder in a liquid medium such as water or an organic liquid. The liquid medium may function as a solvent for the binder.

The composition of the braze alloy is generally nickel-based or cobalt-based. Nickel- or cobalt-based compositions generally denote compositions wherein nickel or cobalt is the single greatest element in the composition by weight percentage. The braze alloy composition may also contain silicon, boron, phosphorous or combinations thereof, which serve as melting point suppressants. It is noted that other types of braze alloys can be used, such as precious metal compositions containing silver, gold, or palladium, mixtures thereof, in combination with other metals, such as copper, manganese, nickel, chrome, silicon, and boron. Mixtures that include at least one of the braze alloy elements are also possible. Exemplary braze alloys have the following nominal compositions, by weight percent: 2.9 boron, 92.6 nickel, 4.5 tin; 3.0 boron, 7.0 chromium, 3.0 iron, 83.0 nickel, and 4.0 silicon; 19.0 chromium, 71.0 nickel, and 10.0 silicon; 1.8 boron, 94.7 nickel, and 3.5 silicon.

A variety of materials are generally used as binders in the slurry for forming the green braze tape. Non-limiting examples include water-based organic materials, such as polyethylene oxide and various acrylics. Solvent-based binders can also be used. Additional organic solvents (e.g., acetone, toluene, or various xylenes) or water may be added to the slurry to adjust viscosity.

The slurry is usually tape cast onto a removable support sheet, such as a plastic sheet formed of a material such as Mylar®. A doctor-blade apparatus is generally used for tape-casting. Substantially all of the volatile material in the slurry is then allowed to evaporate. The resulting braze alloy

tape usually has a thickness in a range of about 1 micron to about 250 microns, and preferably, in a range of about 25 microns to about 125 microns.

Braze tapes containing the above-mentioned braze alloy and binder are commercially available. An example of a commercial product is the Amdry line of braze tapes, available from Sulzer Metco. An exemplary grade is Amdry®100.

The depression-producing phase that is applied to the green braze tape is typically a coarse powder, being formed of particles having a size sufficient to form defined ridges and depressions that function to increase heat transfer of the treated component. In many embodiments, the size of the particles is determined in large part by the desired degree of surface roughness and surface area (and consequently, heat transfer) that will be provided by the ridges and depressions. Surface roughness is characterized herein by the centerline average roughness value "Ra", as well as the average peak-to-valley distance "Rz" in a designated area as measured by optical profilometry. According to an embodiment, Ra is greater than about 0.1 mils, such as greater than about 1.0 mils, and preferably greater than about 2.0 mils. Ra is typically less than about 25 mils, more typically less than about 10 mils. Similarly, according to an embodiment, Rz is greater than about 1 mil, such as greater than about 5 mils. Rz is typically less than about 50 mils, more typically less than about 25 mils.

In one embodiment, the particles of the depression-producing powder are generally spherical, typically having an average aspect ratio of not greater than 2.0, desirably not greater than 1.5. In one embodiment the particles have an average aspect ratio not greater than about 1.2. The average size of the depression-producing powder particles is generally in the range of about 125 to about 4000 microns, such as about 150 to about 2050 microns. In a

preferred embodiment, the average size of the powder particles is in the range of about 180 microns to about 600 microns.

The depression-producing material is formed of any material that may be selectively removed from the matrix phase material. Preferably, the particulate material does not react with the matrix material at elevated temperatures used for bonding the matrix material to the substrate. For example, the material may be metallic, such as nickel-chrome-aluminum-yttria alloys (NiCrAlY), which can be selectively removed from the braze alloy matrix by etching in an acid bath. Ceramic material may also be used, which may provide even more selectivity. For example, in one embodiment, alumina particles are utilized, which may be etched selectively from a braze alloy matrix with various oxidizing acids, such as hydrochloric acid. In low temperature applications, where the matrix phase is formed of a solder or high-temperature epoxy, plastics in particulate form can be used.

The powder can be randomly applied by a variety of techniques, such as sprinkling, pouring, blowing, roll-depositing, and the like. The choice of deposition technique will depend in part on the desired arrangement of powder particles, to provide the desired pattern of ridges and depressions. As an example, metered portions of the powder are sprinkled onto the tape surface through a sieve in those instances where the desired pattern-density of the depressions is relatively low.

Usually, an adhesive is applied to the surface of the green braze tape prior to the application of the depression-producing powder thereon. Any braze adhesive can be used, so long as it is capable of completely volatilizing during the subsequent fusing step. Illustrative examples of adhesives include polyethylene oxide and acrylic materials. Commercial examples of braze adhesives include "4B Braze Binder", available from Cotronics Corporation. The adhesive can be applied by various techniques. For example, liquid-like

adhesives can be sprayed or coated onto the surface. A thin mat or film with double-sided adhesion could alternatively be used, such as 3M Company's 467 Adhesive Tape.

In one embodiment, prior to being brazed, the powder particles are shifted on the tape surface to provide the desired alignment that would be most suitable for heat transfer. For example, acicular particles having an elongated shape (e.g., aspect ratio greater than 2.0) may be physically aligned so that their longest dimension extends substantially perpendicular to the surface of the brazing sheet contacting the substrate. The alignment of the powder may be carried out by various other techniques as well. For example, physical, magnetic or electrostatic methods may be used to achieve the desired orientation. In yet another embodiment, individual particles or clusters of particles are coated with braze alloy, and such coated particles are placed on an adhesive sheet for application to a substrate. The adhesive sheet can be formed of any suitable adhesive, provided that it is substantially completely burned-out during the fusing operation. Suitable adhesives are discussed above.

In some embodiments, the depression-producing powder is patterned on the surface of the brazing sheet. Various techniques exist for patterning. In one embodiment, the braze alloy powder is applied to the substrate surface through a screen, by a screen printing technique. The screen has apertures of a pre-selected size and arrangement, depending on the desired shape and size of the protuberances. Alternatively, the braze adhesive is applied through the screen and onto the sheet. Removal of the screen results in a patterned adhesive layer. When the braze alloy powder is applied to the sheet, it will adhere to the areas that contain the adhesive. By use of a screen, a pattern may be defined having a plurality of "clusters" of particles, wherein the clusters are generally spaced apart from each other by a pitch corresponding to the spacing of the openings in the screen. The excess

powder can easily be removed, leaving the desired pattern of particles. As another alternative, a "cookie cutter" technique may be employed, wherein the braze tape is first cut to define a desired depression-producing pattern, followed by removal of the excess braze tape. The depression-producing powder can then be applied to the patterned tape. In yet another embodiment, particles of the depression-producing material are coated with braze alloy, and the coated particles are adhered onto an adhesive sheet that volatilizes during the fusing step. Here, the adhesive sheet provides a simple means for attachment of the depression-producing material to the substrate prior to fusing, but generally plays no role in the final, fused article.

In another embodiment, the depression-producing powder is mixed with the other components of the green braze tape, such as braze alloy powder, binder and solvent, during formation of the green braze tape, rather than providing the depression-producing powder on a surface of the already formed tape. The depression-producing powder in turn forms a dispersed particulate phase within the green braze tape.

The removable support sheet, such as Mylar® backing is then detached from the green braze tape. The tape is then attached to a portion of the component-substrate where enhanced heat transfer is desired. As an example, an adhesive may be employed. Any adhesive suitable for attaching the tape to the substrate material would be suitable, provided that it completely volatilizes during the fusing step.

Another simple means of attachment is used in some embodiments. The green braze tape can be placed on a selected portion of the substrate, and then contacted with a solvent that partially dissolves and plasticizes the binder, causing the tape to conform and adhere to the substrate surface. As an example, toluene, acetone or another organic solvent could be sprayed or brushed onto the braze tape after the tape is placed on the substrate.

Following application of the green braze tape to the substrate, the tape is fused to the substrate. The fusing step can be carried out by various techniques, such as brazing and welding. Generally, fusing is carried out by brazing, which includes any method of joining metals with a filler metal or alloy without any substantial attendant melting of the base material of the substrate. Brazing temperatures depend in part on the type of braze alloy used, and are typically in the range of about 525°C to about 1650°C. In the case of nickel-based braze alloys, braze temperatures are usually in the range of about 800°C to about 1260°C.

When possible, brazing is often carried out in a vacuum furnace. The amount of vacuum will depend in part on the composition of the braze alloy. Usually, the vacuum will be in the range of about  $10^{-1}$  torr to about  $10^{-8}$  torr, achieved by evacuating ambient air from a vacuum chamber to the desired level.

In the case of a brazing sheet being applied to an area which does not lend itself to the use of a furnace, such as when the component itself is too large to be inserted into a furnace or in situ repair, a torch or other localized heating means is generally used. For example, a torch with an argon cover shield or flux is directed at the brazing surface. Specific, illustrative types of heating techniques for this purpose include the use of gas welding torches (e.g., oxy-acetylene, oxy-hydrogen, air-acetylene, air-hydrogen); RF (radio frequency) welding; TIG (tungsten inert-gas) welding; electron-beam welding; resistance welding; and the use of IR (infra-red) lamps.

The fusing step fuses the brazing sheet to the substrate. When the braze material cools, it forms a metallurgical bond at the surface of the substrate, with the depression-producing material mechanically retained by the solidified braze matrix material.

In another embodiment of the invention, the brazing sheet is in the form of a metal preform having first and second surfaces. The preform is formed of a metallic material similar to that of the substrate, such as a braze alloy like that described for the previous embodiment. Thus, if the substrate is a nickel-based superalloy, the preform material is generally a nickel-based superalloy. Other braze alloy compositions may also be suitable, such as those comprising cobalt or iron; or the precious metal compositions described previously. The braze alloy composition typically contains silicon, boron, or combinations thereof, which serve as melting point suppressants. However, unlike a green braze tape, the metal preform generally does not contain a binder since the preform is in densified form. The preform usually has a thickness of about 0.1 micron to about 2500 microns, and preferably, about 25 microns to about 200 microns.

Various techniques can be used to make the metal preform. In the first technique, a mixture of metallic powder material and binder is tape-cast onto a removable support sheet. The support sheet is removed, and the remaining green sheet is then sintered to form the preform, e.g., by using a vacuum heat treatment. The sintering temperature is dependent on various factors, such as the composition of the alloy of the preform, the size of the powder particles, and the desired density of the preform. This process is typically called a "tape-cast pre-form" technique.

According to another technique, a metallic powder material is deposited onto a support sheet as a thin layer of metal. Various thermal spray techniques are usually used for the deposition, such as vacuum plasma deposition, HVOF (high velocity oxy-fuel), or air plasma (AP) spray. Other deposition techniques could be employed as well, e.g., sputtering or physical vapor deposition (PVD). The support sheet is then removed, leaving the desired metal preform.

Yet another technique for making the preform is sometimes referred to as an amorphous metal ribbon technique. In this process, the metallic powder material is melted, and the molten material is poured onto a high-speed roller that very rapidly quenches the molten material. The quenched material is ejected from the roller as a ribbon. Braze preforms are commercially available from various sources, such as Wesgo and Allied Signal Company. In general, the braze preform differs from the green braze tape described above in that the preform is in a densified form (e.g., sintered) before application of the depression-producing powder and subsequent fusing to a substrate.

The depression-producing powder is applied to a surface of the braze preform. The powder generally has the same characteristics as the powder described for the previously described embodiment incorporating a green braze tape. Usually, an adhesive is applied to the surface of the preform, prior to the application of the depression-producing powder. The adhesive can be selected from those described previously, provided that it adheres to the metallic preform and it completely volatilizes during the subsequent fusing step. Illustrative adhesives are those that were described previously, e.g., polyethylene oxide and various acrylics. The braze alloy powder particles can also be shifted and aligned as described above, based on the required heat transfer characteristics for the substrate surface. Similarly, the powder particles can also be patterned on the surface of the preform by various techniques.

In some instances, the substrate surface to which the preform will be attached is curved. In such a case, it may be desirable to provide the preform with an identical curvature. Relatively thin preforms may be easily bent to match the curvature of a substrate. Preforms of greater thickness usually are not flexible, but can be shaped by other techniques. As an example, a



removable support sheet is employed during fabrication, which sheet has the desired curvature of the substrate. The braze material is then deposited on the support sheet by the techniques described previously, e.g., thermal spraying or casting (for example, liquid metallic casting without a binder, or powder-slurry casting with a binder). The depression-producing powder can then be deposited on the preform, as also described previously. The preform which has the desired curvature can then be detached from the support sheet.

The braze preform is cut to a size appropriate for the site on the substrate where enhanced heat transfer is to be provided. The preform can then be attached to that portion of the substrate. As an example, the surface opposite that which is coated with the depression-producing powder is attached to the substrate with an adhesive sheet or adhesive composition. Any adhesive suitable for attaching the preform to the substrate metal should be suitable, as long as it completely volatilizes during the fusing step. Illustrative adhesives are those that were described previously.

Alternatively, the braze preform is attached by mechanical means. In some preferred embodiments, the preform is locally welded to the substrate surface at a few locations (spot welding). A variety of heating techniques could be employed, such as TIG (tungsten inert-gas) welding, resistance welding, gas welding (e.g., with a torch), RF welding, electron-beam welding, and IR lamp methods.

Fusing of the preform to the substrate can then be undertaken as described previously, with brazing often being used for this step. Brazing temperatures will again depend in part on the type of braze alloy used for the preform, and are typically in the range of about 525°C to about 1650°C. In the case of nickel-based braze alloys as described above, braze temperatures are usually in the range of about 800°C to about 1260°C. The

fusing step fuses the preform to the substrate, as described previously, and may be carried out in a vacuum furnace. Alternatively, brazing may be accomplished through use of a torch or other heating technique (e.g., the welding techniques mentioned above) can be used for fusing the preform to the substrate, as an alternative to the vacuum furnace.

In an alternative embodiment, the preform comprises an alloy, pre-textured by removal of a particulate phase to form depressions as described above, which preform is bonded to the substrate by a braze alloy layer. In this case, the preform is formed of an alloy having a higher melting or softening point than the braze alloy, and the preform is a free standing sheet already having the desired texture.

According to another embodiment, the substrate is coated with a layer of material in slurry form. That is, in contrast to the embodiments described above, a brazing sheet (in the form of a green braze tape or brazing preform) is not used. Rather, a slurry containing a liquid medium, braze alloy powder, and depression-producing powder is directly applied to a surface of the substrate. The slurry is dried, and then the coated substrate is heated such that the braze alloy softens to form a film that bonds the depression-producing powder to the substrate. The slurry typically contains a binder, and the liquid medium functions as a solvent for the binder. Use of a binder is desirable in cases where handling of the component is necessary after drying of the slurry and before fusing, such as transporting the coated component to a furnace.

The liquid medium may be water, an organic component such as acetone, toluene, or various xylenes, or mixtures of water and an organic component. The depression-producing powder, braze alloy powder, and binder may be formed of materials described above. By way of example, binders include water-based organic materials (or combinations of materials),

such as polyethylene oxide and various acrylics. Non-aqueous solvent-based binders can also be used.

The slurry itself generally contains depression-producing powder, braze alloy, and binder. The amount of braze alloy is chosen relative to the depression-producing powder in an amount sufficient to bond the particles of the depression-producing powder to the substrate, such as about 1 to 40 wt% braze alloy and the balance (about 60 to 99 wt%) depression-producing powder. The amount of binder is generally present in an amount to ensure sufficient green strength for handling while minimizing the volume of binder burnout, such as about 1 to 20 wt% of the slurry.

In the embodiments described above, the structure of the component after-fusing includes a solidified braze alloy film that forms a portion of the outer surface of the component, and protuberances that extend beyond that surface. In reference to FIGS. 1 and 2, component 10 includes a substrate 12, matrix phase 14 in the form of a braze film, and particles 16 embedded in the matrix phase 14 to form protuberances. As shown, the particles 16 are generally arranged in a monolayer, which generally has little or no stacking of particles. Thus, after fusing, the treated component has an outer surface defined by the film of braze alloy, which has a particulate phase embedded therein. The film of braze alloy generally forms a continuous matrix phase. As used herein, "continuous" matrix phase denotes an interconnected film along the treated region of the substrate, between particles or clusters of particles. Alternatively, the film of braze alloy may not be continuous, but rather, be only locally present to bond individual particles to the substrate. In this case, the film of braze alloy is present in the form of localized fillets, surrounding discrete particles or clusters of particles. In either case, thin portions of the film may extend so as to coat or partially coat particles of the depression-producing powder.

Following fusing, the particulate phase is removed to leave behind the structure shown in the micrograph of FIG. 3, and illustrated in FIG. 4. As shown, the component now has a "moon-crater" like structure, defined by overlay coating 23 having ridges 20 that form an interconnected network, and discrete depressions 21. Typically, the overlay coating is formed of a single, homogeneous phase, as in the case of solidified braze alloy. In the example shown in FIG. 1, the particulates were formed of NiCrAlY, in a nickel-base braze alloy matrix (19 wt% Cr, 10 wt% Si, balance Ni). The particulates were had a -50 to +80 mesh size, and were adhered to a green braze tape containing the above braze alloy. The tape was adhered to a substrate, and fused in place at a temperature of 2100 °F. The particulates were removed by exposure of the particulates to a 1:1:1 bath of water, hydrochloric acid (HCl), and HNO<sub>3</sub> (nitric acid) for a duration of 3 hours at 70°C. As described above, other particulate/etchant systems can be utilized, provided that the particulates do not adversely react with the material of the matrix phase during fusing and that the particulates are removed selectively from the matrix. In cases where a thin film of the braze alloy covers the particulates, it is generally desirable to remove the layer such that the particles are directly exposed to the etchant. Such removal can be carried out by various means, including light grit blasting and brief exposure to an etchant to remove the film.

The depressions 21 have a concave contour, due to removal of generally spherical particles. It is expected that this contour shall be particularly effective at increasing the heat transfer of the treated component. The concave contour increases surface area with minimal added mass, which is important to reduce the heat conduction path length, the path length of phonons that propagate through the overlay coating 23. As used herein, the term "concave" as used in connection with the depressions according to embodiments of the present invention, means that in a cross-section extending through the bottom point of the depression, the depression is

bounded by two line segments, each of which is concave as viewed from an exterior of the depression. Concavity of a depression according to an embodiment of the present invention is described in more detail below.

As shown in FIGs. 4 and 5, each depression has a bottom point 24, which is the bottom-most point of the depression. In the case of spherical particulates, the depressions 21 are generally hemispherical, and the bottom point 24 is located at the geometric center of the depression. In this regard, the cross-section of FIG. 5 is taken through the bottom point 24, and bisects the depression 21. In that cross-section, a first line segment 25 is defined, extending from a first side of ridge 20 to bottom point 24, and a second line segment 26, extending from a second side of ridge 20 to bottom point 24. As illustrated, each of the first and second line segments 25 and 26 is concave as viewed from an exterior of the depression 21, along a direction normal to the line segment. In this particular embodiment, the entirety of each line segment along its length is concave; each line segment has no convex portions.

As illustrated in FIG. 5, depression 21 has a diameter  $d$ . The diameter  $d$  generally corresponds to the size of the particulates of the depression-producing phase. Accordingly, the average diameter  $d$  is on the order of about 125 to about 4000 microns, such as about 125 to 2050 microns. Further, the depression 21 has a radius of curvature on the order of about 75 to about 2000 microns, such as about 75 to 1000 microns. The radius of curvature shown in the drawings is generally constant through the entirety of the depression due to the hemispherical contour of the depression. However, the radius of curvature need not be constant, such as is the case when non-spherical particles are used to form the depressions. Generally, non-hemispherical depressions have a radius of curvature at several points along the depression that fall within the values stated above.

The ridge 20 shown in FIG. 5 forms a defined peak due to wetting action of the braze alloy along the outer surface of a particle of the depression-producing phase. However, the ridges need not be sharp, as shown in FIG. 6. Rounding of the ridge can be due to various factors, including a low degree of wetting of the matrix phase to the depression-producing phase during fusing, or erosion of the ridge by action of the etchant during the etch treatment. Also shown in FIG. 6 is a case where two particles of the depression-producing phase did not touch or closely pack together. Here, ridge 20, defining the rim of one depression, is separated from ridge 30 by a plateau 28. Such plateaus are generally present throughout the treated or textured surface, and form an interconnected network of ridges.

According to embodiments of the present invention described in particular detail above, a textured surface, having visible depressions, is formed in an overlay layer. By use of an overlay layer, the material of the layer may be chosen to enhance certain properties of the component. For example, the overlay layer may have desirable thermal conductivity, corrosion resistance, and oxidation resistance.

In an alternative embodiment, a turbine engine component having enhanced heat transfer is made directly during the casting operation, rather than by using the subtractive method described above, where a depression-producing phase is selectively removed from a matrix phase. In this alternative embodiment, molten alloy is injected into a mold which has an inner surface that is textured with bumps or protuberances. Accordingly, the base material of the component forms the texturing rather than an overlay coating. Suitable molten alloys include those mentioned above, such as cobalt- or nickel-based superalloys.

The protuberances typically have the same characteristics as the particulate phase described above with respect to the prior embodiment. In

one form, the protuberances are generally spherical, having an average aspect ratio less than 2.0, typically less than about 1.5, and more particularly, not greater than about 1.2. The protuberances have an average height on the order 125 to about 4000 microns, such as about 125 to about 2050 microns. The mold may be manufactured by one of various techniques used in the art, such as what is known as the "lost wax process." Typically, the mold is formed of a ceramic material to withstand the high temperatures generally associated with casting a molten alloy. Typical ceramic materials include alumina, silica, and combinations thereof.

Molds for casting typically have an outer shell and an inner core. In cases where the textured surface is along an interior of a part, such as an inner surface defining an internal cavity, an outer surface of the inner core is textured with the protuberances or bumps as described above. A typical example of such a component is a turbine blade which receives backside coolant flow.

Following casting, the alloy is allowed to cool and solidify. The mold is then separated from the component. Typically, a portion of the mold, such as the inner core, is destroyed in order to separate the mold from the cast component. The cast component has a textured surface that mimics or is complementary to the protuberance-containing surface of the mold. That is, the cast component has a plurality of recesses that are complementary to the protuberances of the mold. The geometrical characteristics of the textured surface, including contour, size, and shape of the recesses and ridges are as stated above for the embodiment formed using subtractive techniques.

According to the foregoing embodiments of the invention, the average depth of the depressions as measured from the ridge to the bottom point is on order of about 75 microns to about 2000 microns, particularly about 75 microns to about 1000 microns. In addition, according to embodiments of the

present invention, the density of depressions generally is at least 25 depressions/cm<sup>2</sup>, typically not less than 100 depressions/cm<sup>2</sup>, and desirably not less than 500 depressions/cm<sup>2</sup>. In one embodiment, the depression density was about 1100 depressions/cm<sup>2</sup>, and another 3100 depressions/cm<sup>2</sup>.

The texturing of the turbine engine components according to embodiments of the present invention is effective to increase surface area of the substrate. For example, area enhancement  $A/A_0$ , where  $A$  is the surface area of the treated region of the component and  $A_0$  is the surface area of the same region of the component in untreated form (generally a smooth surface), is generally at least about 1.05, typically at least about 1.20. Area enhancement  $A/A_0$  is desirably at least about 1.50.  $A/A_0$  is generally less than about 4.0, typically less than about 2.5.

In most embodiments, the textured surface containing ridges and depressions or recesses is present to enhance the heat transfer characteristics for the underlying component. The enhanced heat transfer characteristics in turn result in a desirable temperature reduction for specified regions of the component, leading to a desirable reduction in thermal stress. Moreover, by tailoring the size and spacing of the depressions, the heat transfer enhancement can also be adjusted, which in turn results in a reduction in the thermal and stress gradients for the component.

According to embodiments of the present invention, by reducing the profile of the textured surface over conventional cast turbulators, pressure drop of the coolant medium flow across the cooled surface is reduced and the fin cooling efficiency is improved. For example, in one embodiment, the depth of the depressions is not greater than 600 microns, more particularly, less than about 375 microns to improve fin efficiency.



Texturing can be applied to a wide variety of turbine engine components. For example, other superalloy components including combustor liners, combustor domes, buckets or blades, nozzles, vanes, airfoils, or shrouds. Non-superalloy components used in lower temperature applications may also be treated. For example, shroud clearance control areas, including flanges, casings, and rings may be advantageously treated. In these embodiments, use of texturing permits more accurate control of the diameter of the flowpath shroud, thereby decreasing the clearance between the blade tip and shroud surface and increasing efficiency. In view of the lower temperature requirements for the materials of such components, in the case of an overlay coating, the braze alloy may be replaced with another bonding agent such as a high temperature epoxy or solder, for example.

As described above, cooling is generally carried out by impingement cooling, that is, with a coolant medium that is directed perpendicularly against a component used in a high temperature environment. It should be understood that while impingement cooling represents a preferable form of cooling, the coolant medium can be directed at varying angles with respect to the textured surface. In addition, while the coolant medium is usually air, it could also be composed of other fluids such as water.

As described above, a textured surface is cast-in or provided in the form of an overlay coating to improve heat transfer. The increase in heat transfer is believed to be largely due to the increased surface area of the treated component. The textured surface may also increase heat transfer by modifying the coolant medium flow characteristics, such as from laminar flow to turbulent flow along the surface.

According to embodiments of the present invention, methods are provided that permit texturing of surfaces that are not easily accessible, to provide improved heat transfer. Further, embodiments of the present invention enable formation of a depression/ridge system of varying sizes and geometries, and in patterns, if desired. Because the textured surface on the turbine engine component has increased surface area and minimal material mass, heat transfer is further improved by reducing phonon path length through the component.

Having described preferred embodiments of the present invention, alternative embodiments may become apparent to those skilled in the art without departing from the spirit of this invention. Accordingly, it is understood that the scope of this invention is to be limited only by the claims.

#### **4. Brief Description of Drawings**

FIG. 1 is an SEM micrograph of a surface of a turbine engine component before an etch treatment;

FIG. 2 illustrates a cross-section of a surface of a turbine engine component prior to etching;

FIG. 3 is an SEM micrograph of the surface shown in FIG. 1 following an etch treatment;

FIG. 4 illustrates a cross-section of the surface of FIG. 2 following etching;

FIG. 5 illustrates an enlarged cross-sectional view of FIG. 4; and

FIG. 6 illustrates another enlarged cross-sectional view of FIG. 4.

FIG. 1

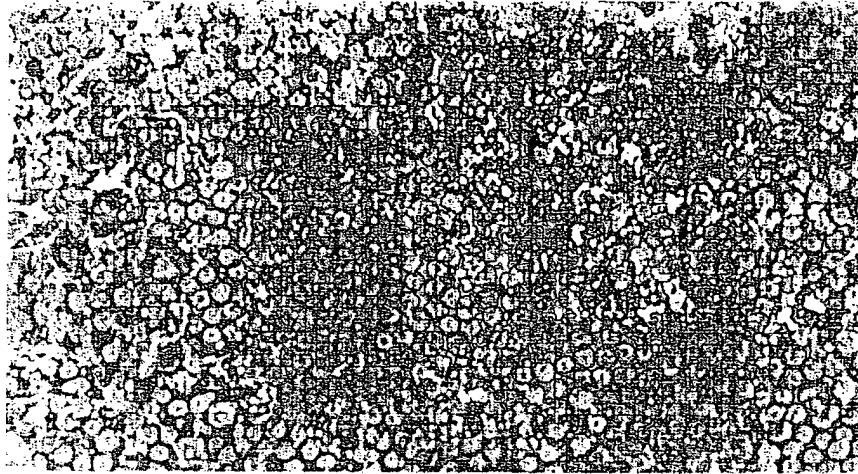


FIG. 2

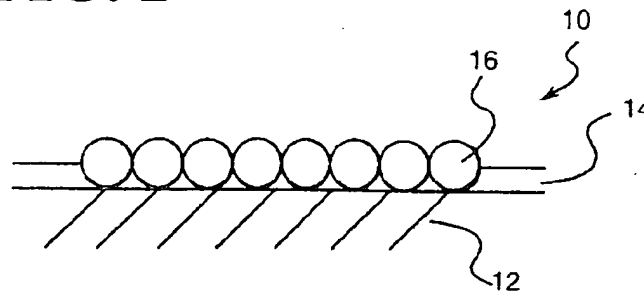
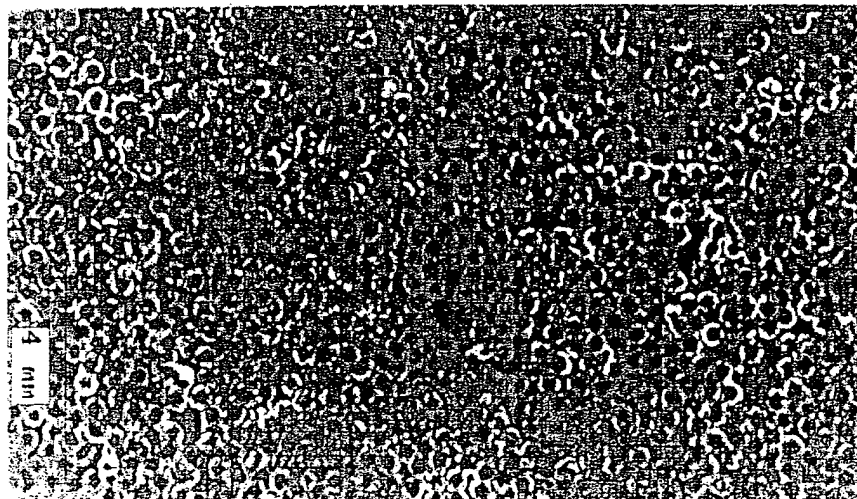
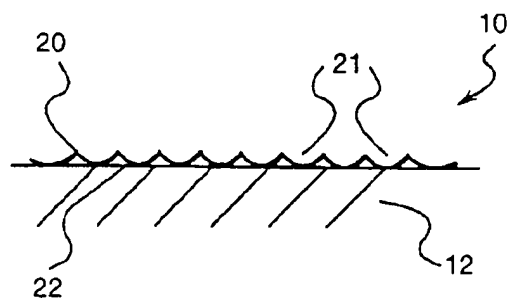


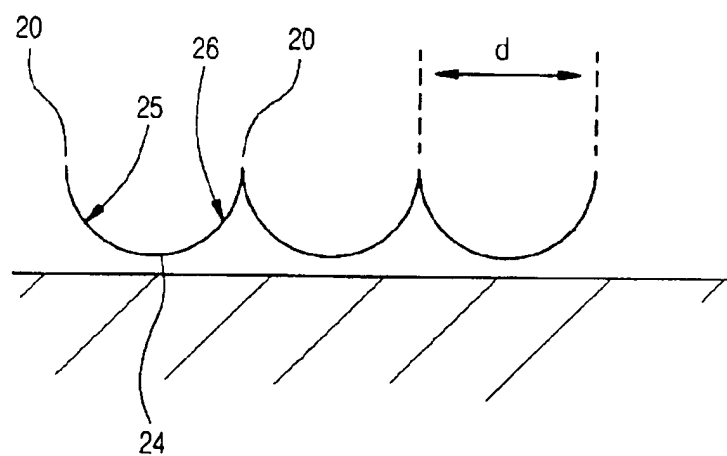
FIG. 3



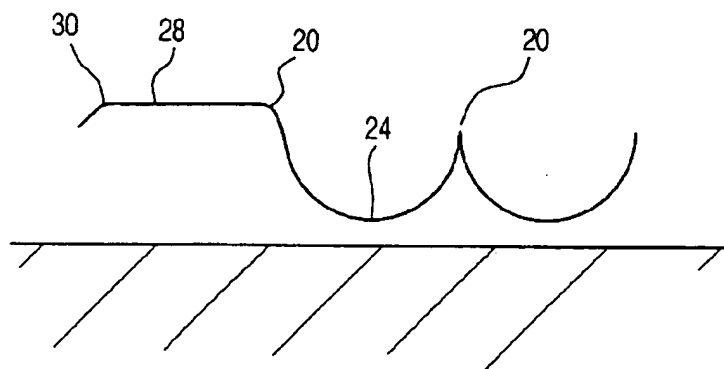
**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**



## 1. Abstract

A turbine engine component is provided that has a surface that contains a plurality of depressions that are effective to increase the surface area of the component. The depressions are generally concave in contour and improve the heat transfer characteristics of the component. Methods for forming the turbine engine components are also disclosed.

## 2. Representative Drawing: Figure 5

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**